

TARTU ÜLIKOOL

Loodus- ja täppisteaduste valdkond

Füüsika instituut

Füüsika

Oskar Aava

**KOSMOLOOGILISE KESKKONNA MÕJU GALAKTIKATE
MORFOLOOGIALE**

Bakalaureusetöö (12 EAP)

Juhendajad:
Elmo Tempel
Maarja Kruuse

Tartu 2018

Kosmoloogilise keskkonna mõju galaktikate morfoloogiale

Oskar Aava

Kokkuvõte

Töös uuritakse seost galaktikate morfoloogia ning keskkonna tiheduse vahel. Eesmärk on leida kas galaktikate morfoloogia muutub tiheduse muutumisel, kui galaktikate värvus ja heledus on fikseeritud. Töös on galaktikad keskkonna tiheduse järgi jaotatud nelja erinevasse gruppi. Keskkonna tihedus on arvatud galaktikate järgi, mis asuvad kuni 2Mpc kaugusel. Kasutades SDSS ja Galaxy Zoo andmeid leiame, et kui fikseerida galaktika värvusindeks nii u-g, g-r ja r-i korral, ei ole galaktikate morfoloogias statistiliselt olulisi muutusi. Määramatuse arvutamiseks on kasutatud töös 90% usaldusintervalli. Muutust pole märgata tänu tiheduse ja heleduse suurele korrelatsioonile.

CERCS: P520 Astronoomia, kosmoseuuringud, kosmosekeemia

Influence of cosmic environment to the morphology of galaxies

Oskar Aava

Summary

In this work we examine if there's relation between morphology and environment. Aim is to find if there's change in morphology if we change environment density at fixed colour and luminosity. We distributed galaxies in 4 different groups based on their environmental density. Environment density is calculated with 2Mpc kernel. Using data from SDSS and Galaxy Zoo we find that if we fix luminosity and colourindex for u-g, g-r or r-i, we don't find statistically significant difference. Error of probability is calculated for 90% confidence interval. There's no significant change in morphology because density has strong correlation with luminosity.

CERCS: P520 Astronomy, space research, cosmic chemistry

Sisukord

Kokkuvõte	2
Summary	3
Sissejuhatus	5
Galaktikate morfoloogia	6
1.1 Klassifitseerimine ja evolutsioon	6
1.2 Galaktikate värvus	7
1.3 Morfoloogia ja keskkond	7
Vaatlused	9
2.1 SDSS	9
2.2 Galaxy Zoo	9
2.3 Kasutatavad parameetrid	10
Meetod	12
3.1 Arvutused	12
3.1.1 Galaktikatüübi tõenäosus	12
3.1.2 Tõenäosuse muutus erinevatel tihedustel	13
3.2 Probleem tundmatu morfoloogiaga galaktikatega	13
3.3 Andmete jaotus	14
3.4 Tõenäosus ja selle määramatus	18
3.5 Morfoloogia muutus sõltuvalt tihedusest	20
3.6 Järeldused ja diskussioon	23
Kirjandus	25
A Pildid	30
Lihtlitsents	31

Sissejuhatus

Universumi iseloomustab selle kargstruktuur, mis koosneb galaktikate parvedest ja nende vahel olevatest peenetest filamentidest. Nende struktuuride vahel on tühimikud, kus galaktikate arvtihedus on palju väiksem. Galaktikate areng sõltub sellest, millises keskkonnas nad on. Galaktikate keskkonda iseloomustab see, kas galaktika asetseb tühimikus, kus galaktikate vastastikmõju on väike või galaktika parves, kus galaktikate struktuuri mõjutavad paljud teised galaktikad. Keskkonna tihedus kirjeldab seda, kui palju on galaktikatel ümbritsevaid galaktikaid ehk mitu galaktikat on vaadeldavast galaktikast valitud kaugusel. Lisaks vahetusläheduses olevate galaktikate kaudu mõõdetavale tihedusele uuritakse tihedust, mis iseloomustab galaktikate gruppide lähedust. Veel võib keskkonda kirjeldada sellega, palju gaasi on galaktika vahetusläheduses ning mis tüüpi on ümbritsev aine.

Galaktikate morfoloogia on galaktika struktuur ehk kuju. Käesolevas töös uuritakse keskkonna mõju sellele struktuurile. Vaadates eelnevaid uurimusi (Kuutma et al., 2017) on näha, et kui liikuda filamentide teljele lähemale, siis seal asuvad galaktikad on punasemad. Lisaks sellele väheneb filamentide telje juures spiraalsete galaktikate osakaal. Vähem heledate galaktikate korral jääb värvus määramatuse piires muutumatuks. Käesoleva töö eesmärk on uurida, kas kui fikseerida värvus ja heledus, on võimalik kirjeldada täielikult galaktikate morfoloogiat erinevates keskkondades. Morfoloogiate esinemist kirjeldatakse töös tõenäosusega. See näitab tõenäosust leida fikseeritud heleduse ja värvuse vahemikus kindlat tüüpi galaktika.

Antud töö on jagatud kolmeks osaks. Esimeses peatükis on ülevaade galaktikate morfoloogiast ning seletab lahti värvuse mõiste. Teine osa kirjeldab, kus kohast on pärit uuritavad parameetrid, ning viimane peatükk uurib seost keskkonna ning morfoloogia vahel fikseeritud heleduse ning värvuse korral.

Galaktikate morfoloogia

1.1 Klassifitseerimine ja evolutsioon

Galaktikad jaotatakse peamiselt spiraalseteks ning elliptilisteks. Galaktikad koosnevad kahest tinglikust osast: sfäärilisest mõhnast galaktika keskel ning ketta kujulisest osast selle ümber. Elliptiliseks klassifitseeritakse galaktikad, millel on vaid sfääriline osa. Kettakujulisel galaktikatel on mõlemad osad, enamjaolt on kettakujuline osa spiraalstruktuuriga. Kuna visuaalselt on raske vahet teha S0-tüüpi (kettakujulised kuid ilma spiraalsete harudeta galaktikad) ja elliptilistel galaktikatel, siis antud töös on need kokku arvestatud ning valemite kirjeldatud kui elliptilised galaktikad. Täpsem galaktikate jaotus on lisas toodud pildil A.1.

Arvatakse, et spiraalsed galaktikad evolutsioneeruvad pörgete ja passiivsuse kasvu tõttu S0-tüüpi galaktikateks (Johnston et al., 2014). Vaadates kaugema punanihkega (ajaliselt noorematesse) piirkondadesse on näha, et spiraalgalaktikad on sinisemad ning liikudes lähemale kohalikule piirkonnale on spiraalsed galaktikad järjest enam punasemad ja ühtlasemad kuid säilitavad oma spiraalse struktuuri. Sellist protsessi pole märgata galaktika parvede vahelistes tühimikes (Kelkar et al., 2017). Järelikult see protsess on suuresti mõjutatud keskkonnast. Lisaks eelnevale näitab galaktikate evolutsiooni S0-tüüpi galaktikateks, Sc ja Sd tüüpi (galaktikate tüübid pildil A.1) galaktikate osakaalu vähenemine ning Sa ja Sb tüüpi galaktikate osakaalu tõus ning hilisem langus, kui jälgida vastavate tüüpide osakaalu keskkonna tiheduse kasvades. Varajast tüüpi galaktikate osakaal suureneb tiheduse kasvades. (Goto et al., 2003). Pole märgata elliptiliste galaktikate arvu muutust kaugemate punanihete piirkonnas võrreldes lähemal olevate piirkondadega. Arvatakse, et enamuse varasema aja varajast tüüpi galaktikad, võisid olla elliptilised (Smith et al., 2005). Täpsemalt on uuritud galaktikate evolutsiooni keskkonna tõttu artiklis Boselli and Gavazzi (2006).

1.2 Galaktikate värvus

Värvus on galaktikate puhul kahe erineva valgusfiltriga (toodud tabelis 1.1) mõõdetud galaktika absoluutsete tähesuuruste ehk heleduste logaritmide vahe. Absoluutne tähesuurus on suurus, kus negatiivsemad arvud tähistavad heledamaid galaktikaid. Tänu värvuse definitsioonile on näiteks suure g-filtris ja r-filtris olevate absoluuttähesuuruste vahega galaktika punasem kui väiksema vahe korral.

Galaktikate värvus annab meile hinnangu tähtede tekke kohta. Punane värvus on neil galaktikatel, kus tähtede tekke on vähenenud ning sinised on need galaktikad, kus on suur täheteke (Terndrup et al., 1994). Tähtede teke sõltub keskkonnast. Galaktika parvedes asuvates galaktikates on tähtede teke väiksem kui tühimikes asuvates galaktikates. Väikesest tähetekkest tingituna on parvedes, kus keskkond on tihedam, olevad galaktikad punasemad. Enamikus väga kõrge tähtede tekkega galaktikates on märgata jälgi galaktikate ühinemisest ning seda sõltuvust on näha kõigis punanihke piirkondades (Duc et al., 1997; Elbaz and Cesarsky, 2003). Kaugele galaktikate (punanihe $z \approx 2$) korral on tähtede kiire tekke põhjus nii galaktika evolutsioon kui ka galaktikate ühinemine.

Filter	infrapunane	lähi-infrapunane	punane	roheline	ultravioletne
Tähis	z	i	r	g	u
Lainepikkus (nm)	913.4	762.5	623.1	477.0	354.3

Tabel 1.1: SDSS filtrite piirkonnad

1.3 Morfoloogia ja keskkond

Erinevates keskkondades olevatel galaktikatel on erinev morfoloogia. Elliptiliste galaktikate osakaal on galaktika gruppides ning filamentides suurem kui filamentide äärealadel ning galaktika parvede vahelistes tühimikes (Dressler, 1980). On teada, et piirkondades, kus on palju galaktikaid moodustuvad neist galaktika parved juba varakult. Kuna galaktikate viibimine tihedas keskkonnas kiirendab nende evolutsiooni, siis järelikult on parvedes olevad galaktikad rohkem arenenud kui galaktikad mis asuvad tühimikes (De Lucia et al., 2004). Elliptilistel galaktikatel on kaks võimaliku tekkelugu. Üheks on see, et sfäärilised galaktikad tekkisid juba algselt sellistena varajases universumis. Teine võimalus on, et elliptilised galaktikad on tekkinud tänu spiraalsete galaktikate kokkupõrgetele ja spiraalsete galaktikate evolutsioonile (Dressler, 1980). Tihedas keskkonnas on võimalus kokkupõrgeteks suurem. Lisaks tihedam keskkond eemaldab ainet ahistamise (*harrassement*), ramm-rõhk koorimise (*ram-pressure stripping*), lainelise-pöörlemise (*tidal truncation*), kokku põrkamise (*merger*),

soojusliku-kiirgamise (*thermal evaporation*) ning nälgimise (*starvation*) tõttu, mis omakorda soodustab spiraalsete galaktikate muutumist varajast tüüpi galaktikateks.

Ahistamine on kui teiste galaktikate lähedalt möödumise tulemusel tekkivad galaktikas häiritused. Rammrõhu tulemusena eemaldub galaktikatest tihedas keskkonnas gaas ning tekivad meduus-galaktikad ehk galaktikad, millel on "saba", kus toimub kiire tähteteke. Nälgimine on galaktikat ümbritseva gaasipilve eemaldumine galaktika ümbert teiste parves olevate galaktikate tõttu. Selline protsess vähendab uute tähtede tekkeks vajalikku ainet.

Tähtede tekkimise kiirus on ajaga vähenenud. Sellele viitab kõrge hetkelise tähtede tekke (starburst) järgsete galaktikate suur osakaal suure ning keskmise punanihkega galaktikates, samas kui kohalikus universumis on neid peaaegu olematu hulk (Ferguson et al., 2000). Lisaks näitab kiirus jaotuse ning kõrge tähtede tekke järgsete galaktikate osakaalu muutuse suur korrelatsioon, et interaktsioon tiheda keskkonnaga muudab neid järjest enam passiivsemaks (Poggianti et al., 2009).

See, et spiraalsed galaktikad muutuvad parvedes läätsekujulisteks (S0) on kinnitatud faktiga, et väljaspool tühimikke ei leidu siniseid läätsgalaktikaid (Jaffé et al., 2011). Spiraalsetest galaktikatest on ilma väliste mõjutuste märkideta 40 %. Seega need on galaktikad, mille evolutsiooni pole muutnud kokkupõrked. Väliste mõjutuste märkideta galaktikatest, mis asuvad galaktika parves, on pooled passiivsed, samas väljaspool tihedaid alasi on vaid veerand passiivsed. Järelikult keskkonna mõju muudab neid passiivsemaks. Keskkonna mõju passiivsemaks muutumisele kinnitavad ka teised mitmed uuringud (Baldry et al., 2006; Van Den Bosch et al., 2008; Gavazzi et al., 2010; Haines et al., 2013), seda trendi on näha ka kaugemate galaktikate korral (Poggianti et al., 1999; Sobral et al., 2011; Cooper et al., 2012; Quadri et al., 2011; Woo et al., 2012; Kovač et al., 2013).

Vaatlused

Töös kasutatud andmed on mõõdetud SDSS¹ tulemusena Sloan Foundation teleskoobi poolt. Info morfoloogia kohta on saadud tsiviilteadurite tulemusel projekti Galaxy Zoo² kaudu.

2.1 SDSS

Andmed galaktikate kohta on saadud SDSS-III tulemustest. SDSS kasutab modifitseeritud kahe korrektoriga Ritchey-Chretien tüüpi teleskoopi, millel on 2.5-meetrine peapeegel ja 1.08m sekundaarne peegel. Tänu neile elementidele on teleskoobil 3-kraadise diameetriga moonutusteta vaateväli. Töös kasutatavad andmed pärinevad SDSS kümnendast andmete väljastusest (Data Release 10 ehk DR10) (Ahn et al., 2014; York et al., 2000). Galaktikad on pärit SDSS *main survey* piirkonnast, mis katab viiendiku taevast ning sisaldab pool miljonit galaktikat. Galaxy Zoo projekti tulemusel on leitud morfoloogia klassifikatsioon umbes 900 000 galaktikale. Praeguses töös on galaktikate arvu vähendatud eemaldades liiga lähedal olevad galaktikad ning ka liiga kaugel olevad galaktikad, kuna andmed nende galaktikate kohta on liiga hõredad. Kasutatud kataloogi koostamist kirjeldab artikkel Tempel et al. (2014). Kokku on vaadeldavaid galaktikaid 508640.

2.2 Galaxy Zoo

Galaxy zoo 1 (GZ1) on projekt, kus tavakodanikud klassifitseerivad galaktikate morfoloogiat pildi järgi. (Lintott et al., 2010). Selleks näidatakse inimestele suur hulk galaktikaid ning neil tuleb valida, kas tegemist on spiraalse või elliptilise galaktikaga. Kui inimene ei osanud tüüpi määrata võis valida ta variandi, et ta ei tea selle galaktika tüüpi valikuga "i dont know". Ekspertide ning tavakodanike visuaalse hindamise täpsus ei ole väga palju erinev (Lintott et al.,

¹<http://www.sdss.org/>

²<http://zoo1.galaxyzoo.org/>

2010). Võrreldes automatiseeritud hindamismeetoditega on siiski visuaalne hindamine palju täpsem, eriti just piltide puhul, kus müra ning signaali suhe on väike. Üheks automatiseeritud viisiks on võrrelda ka äärte ning galaktika keskme vahelist valguse jaotust, sellist meetodit on näiteks kasutatud uurimustes: Blanton et al. (2003a); Kauffmann et al. (2003). Siiski see meetod ei suuda leida heleda keskmega spiraale. Valguse kontsentreeritus on paremini korreleeritud heleduse kui morfoloogiaga (Gavazzi et al., 2000). Lisaks vajavad osad arvuti klassifitseerimise tarkvarad juba klassifitseeritud galaktikaid, et treenida galaktikate morfoloogia hindamise täpsust.

Nii automatiseeritud kui ka visuaalse hindamise korral tekib raskusi kui vaadata väiksema signaali ning müra suhtega pilte. Näiteks tekivad vead hinnates galaktikatüüpi nende galaktikate jaoks, mis asuvad kaugel. Mürasemate piltide hinnangutes tekkiv viga viib selleni, et mõned galaktikad on valesti klassifitseeritud. See omakorda vähendab erinevust elliptiliste ning spiraalsete vahel. Selline viga ilmnes kõrgema punanihke korral, mil inimesed hindasid galaktikaid vähem spiraalseteks. See viga parandati kasutades statistilist meetodit (Bamford et al., 2009b).

Käesolevas töös on arvestatud vastavalt spiraalseks ning elliptiliseks galaktikaid, mis on saanud küsitluse tulemusel rohkem, kui pooltel kordadel vastava klassifikatsiooni. Teadmata galaktikateks on galaktikad mis on saanud mõlema kategooria "hääli" vähem kui pooltel kordadel.

2.3 Kasutatavad parameetrid

Keskkonna parameetritest on kasutatav tihedus, mis on arvutatud artiklis Tempel et al. (2012). Tihedus on normaliseeritud ning silutud kerneliga, mille laius oli 1Mpc/h. Oli võimalus kasutada veel ka kernelit laiusega 2, 4 ja 8Mpc/h, kuid kuna nende tulemused väga ei erinenud, siis on töös valitud parameeter, kus olid suurimad erinevused galaktikate tiheduste vahel. Lokaalne tihedust sõltub tugevalt morfoloogiast (Dressler, 1980; Huchra et al., 1983; Huchra and Geller, 1982). Samas on uuringuid, mis väidavad, et morfoloogia on hoopis tugevalt seotud gruppide vahelise kaugusega (Whitmore and Gilmore, 1991; Whitmore et al., 1993). Siin töös kasutatakse lokaalset tihedust kuna hilisemad suurema andmete hulgaga tööd (Goto et al., 2003) on näidanud, et eksisteerivad mõlemad suhted.

Heleduse saamiseks on kasutatud r filtriga leitud absoluutset tähesuurst. Tulemused on leitud mitme erineva värvi korral (punane: filtri r ja i vahe, roheline: filtri g ja r vahe, sinine: filtri u ja r vahe). Näiv tähesuurus on muudetud absoluutseks tähesuuruseks valemi

$$M_{\lambda} = m_{\lambda} - 25 - 5\log_{10}(d_L) - K \quad (2.1)$$

järgi nagu seda on tehtud uurimuses Tempel et al. (2012). Valemis (2.1) on d_L heleduskaugus ühikutes $h^{-1}Mpc$, K on k+e-parandus (punanihke ja evolutsioonist tuleva vea parandus) ja λ tähistab ugriz filtrit. Suurused on k-korrigeeritud ehk neist on eemaldatud sõltuvus punanihkest, seda on tehtud algoritmi KCORRECT abil (Blanton and Roweis, 2007). Evolutsiooni tõttu tekkinud vigade parandused on tehtud Blanton et al. (2003b) järgi. Lisaks on tähesuuruse väärtusest eemaldatud viga, mis on tekkinud valguse neeldumise tõttu ehk on arvestatud valguse hajumist ning neeldumist kosmilise tolmu tõttu Linnutee galaktikas.

Meetod

3.1 Arvutused

3.1.1 Galaktikatüübi tõenäosus

Iga värvuse ning heleduse binni jaoks on arvutatud elliptilise/spiraalse galaktika esinemise tõenäosus, valemiga:

$$p_s = \frac{n_s}{n_s + n_e + n_t} \quad (3.1)$$

Kus p_s on tõenäosus, et kindla värvuse ja heleduse piirides juhuslikult valitud galaktika on spiraalgalaktika. n_s tähistab spiraalsete galaktikate arvu binnis ning n_e elliptiliste galaktikate arvu seal binnis. n_t on binnis asuvate klassifitseerimata morfoloogiaga galaktikate arv. Elliptiliste galaktikate jaoks on tõenäosus arvutatud sama valemi järgi, kuid valemi 3.1 lugejas on elliptiliste galaktikate arv. Valitud on selline valem kuna ilma tundmatuid galaktikaid arvestamata ning võttes nimetajasse vaid spiraalsete ja elliptiliste galaktikate arv, annaks valem kallutatud tõenäosuse. Kallutatud tõenäosus tekib sel juhul kuna pole arvestatud tundmatute galaktikadena esinevaid elliptilisi ning spiraalseid galaktikaid. Lisaks on tundmatute galaktikate sees mingi osa galaktikaid, mis ei kuulu ei elliptiliste ega spiraalsete gruppi. Nagu on seletatud peatükis 3.2 pole võimalik tundmatuid galaktikaid rahuldavalt jaotada spiraalseteks ega elliptilisteks.

Kuna erinevate tiheduste jaoks on tõenäosused arvutatud väga varieeruva galaktikate arvuga, siis et neid tõenäosusi omavahel võrrelda on kaalutud neid Willsoni skoor intervalli (*score interval*) valemi järgi (Wilson, 1927). Selle teooria järgi on leitud igale tõenäosusele ka tõenäosuse määramatus. Kaalutud tõenäosus on:

$$P_s = \frac{p_s + \frac{z^2}{2n}}{1 + \frac{z^2}{n}} \quad (3.2)$$

Selles valemis z on maksimaalne väärtus arvule, mis on meie usaldusintervallis, selle arvu väärtus on tõenäosuse ja tõenäosuse standardhälbe jagatis. Töös kasutatud usaldusintervall on 90% ning sellest tulenevalt $z=1.645$ -ga. Muutuja n on kõikide binis olevate galaktikate summa ehk $n = n_s + n_e + n_t$.

3.1.2 Tõenäosuse muutus erinevatel tihedustel

Võimaldamaks erinevaid tõenäosusi omavahel võrrelda, on leitud iga tõenäosuse jaoks määramatus järgneva valemiga:

$$U_s = \frac{z}{1 + \frac{z^2}{n}} \sqrt{\frac{p_s(1-p_s)}{n} + \frac{z^2}{4n^2}} \quad (3.3)$$

U_s on valemi 3.2 juurde kuuluv määramatus. Selline galaktikate arvust sõltuv määramatus aitab valida tõenäosuse usaldusväärseimad muutuse väärtused. Muutuse suurus on esitatud käesolevas töös võrrandiga:

$$\frac{P_i}{P_j} - 1$$

Kus P_i on ühes tihedusvahemikus arvatud tõenäosus leida üht tüüpi galaktikat ning P_j on tõenäosus leida sama tüüpi galaktikat teise tihedusvahemiku jaoks. Indeks i tähistab erinevaid tihedus vahemikke. Tõenäosus tähistusega i on arvatud suuremate keskkonna tihedustega galaktikate korral kui tõenäosus indeksiga j . Selline muutus on leitud kõikide tihedusvahemikke kombinatsioonide jaoks (binis, kus on kõik tõenäosused määratud on neid kombinatsioone 6). Graafikutel 3.12 on toodud vaid muutus, kus kahe tihedusvahemiku spiraalsete/elliptiliste galaktikate esinemis tõenäosuste kombineeritud määramatus oli kõige väiksem ehk kus summa $U_i + U_j$ on minimaalne.

3.2 Probleem tundmatu morfoloogiaga galaktikatega

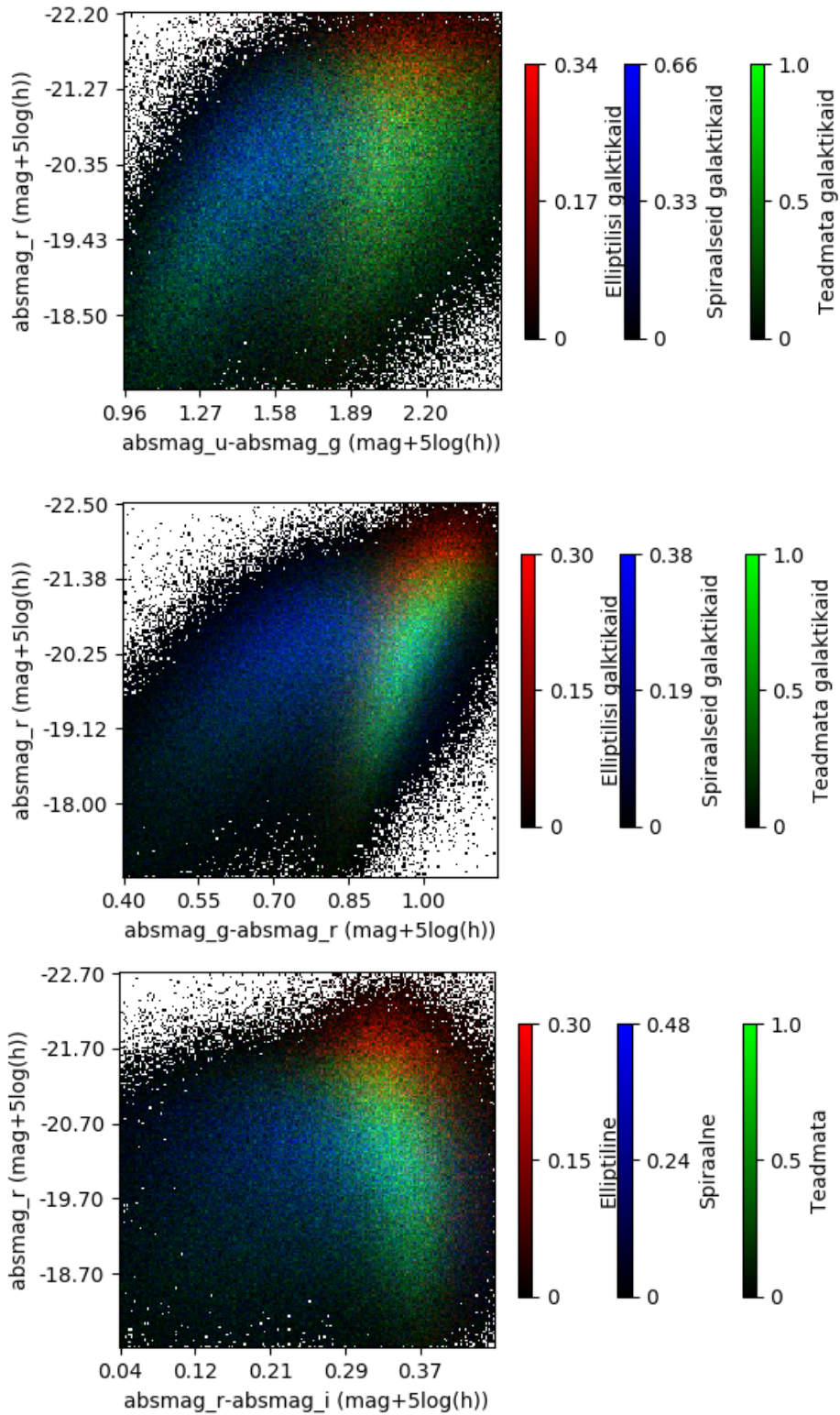
Tundmatuteks galaktikateks on liigitatud galaktikad mida ei saanud piisavalt suure kindlusega pidada ei spiraalseks ega elliptiliseks galaktikaks. Galaxy Zoo 1 jagas galaktikad 6te gruppi: elliptiline, päripäeva käiv spiraalgalaktika, vastupäeva käiv galaktika, spiraalne galaktika, kus ei saa määrata spiraalharude keerdumise suunda, täht või artifakt ning ühinemine. Lisaks gruppidele oli võimalus valida, et hindaja ei oska galaktikat liigitada. Galaxy Zoo poolt on iga galaktika hinnatud mitme inimese poolt ning selle järgi on arvatud tõenäosus, et tegu on just

seda tüüpi galaktikaga. Artiklis Lintott et al. (2010) on uuritud võimalust kaaluda inimeste hinnangut erineva suurusega vastavalt sellele, kui paljudel kordadel inimese arvamus ühtis teiste hinnanguga kuid see lõpptulemust väga ei muutnud. GZ1 jaotas galaktikad, ka puhasteks ning väga puhasteks hulkadeks, kui inimeste hinnangud ühtisid vastavalt 80% ja 95%. Sõltuvalt uurimusest pole otstarbekas kasutada nii kõrge ühtimisega tulemusi näiteks uuringus Darg et al. (2010), kasutades juba 40% kordadel ühinemiseks tunnistatud struktuure, oli kõikidel pildidel tegemist galaktikate ühinemisega. Kuna puuduvad otsesed Galaxy Zoo tulemused, siis ei saa kasutada meetodit mida kasutati töös Bamford et al. (2009a), kus on kõikide galaktikate hinnangud kokku arvestatud, mis vähendaks palju teadmatute galaktikate arvu. Samas see meetod liigitas elliptiliseks/spiraalseks ka ebakorrapäraseid galaktikad. Lävis kasutamise tõttu on käesolevas töös umbes pool galaktikatest klassifitseerimata. Lävis kasutamine galaktikate tüüpide arvutamisel võimaldab vaadata vaid ühte galaktika tüüpi korraga, lisaks on see kasulik kui on vaja teada kindla galaktika tüüpi.

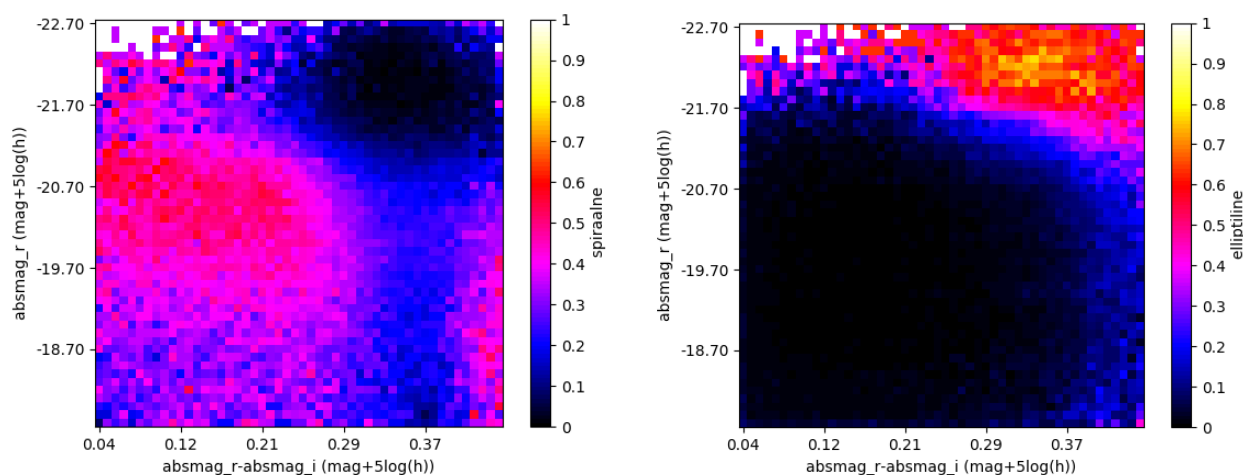
3.3 Andmete jaotus

Enim galaktikaid on vaadeldava piirkonna keskel. Värvusindekside ning heleduse piirid on valitud nii, et oleks iga piksli kohta piisavalt galaktikaid. Piirkonnast väljaspool on $\approx 18\%$ galaktikatest. Kõige ebatäpsemad on väikese galaktikate arvu tõttu jooniste äärealad. Teadmata morfoloogiaga galaktikaid graafikul on $\approx 63\%$, spiraalseid on $\approx 29\%$ ning elliptilisi $\approx 8\%$. Delgado-Serrano et al. (2010) uurides lähedal asuvaid galaktikaid, sai et neist 72% on spiraalsed, 18% E/S0 tüüpi galaktikad ning 10% ebakorrapäraseid. Kuna $8\%/29\% > 18\%/72\%$, siis sellest tuleb välja, et meie galaktikate hulgas on spiraalsed galaktikad vähemas osas klassifitseeritud, kui elliptilised galaktikad.

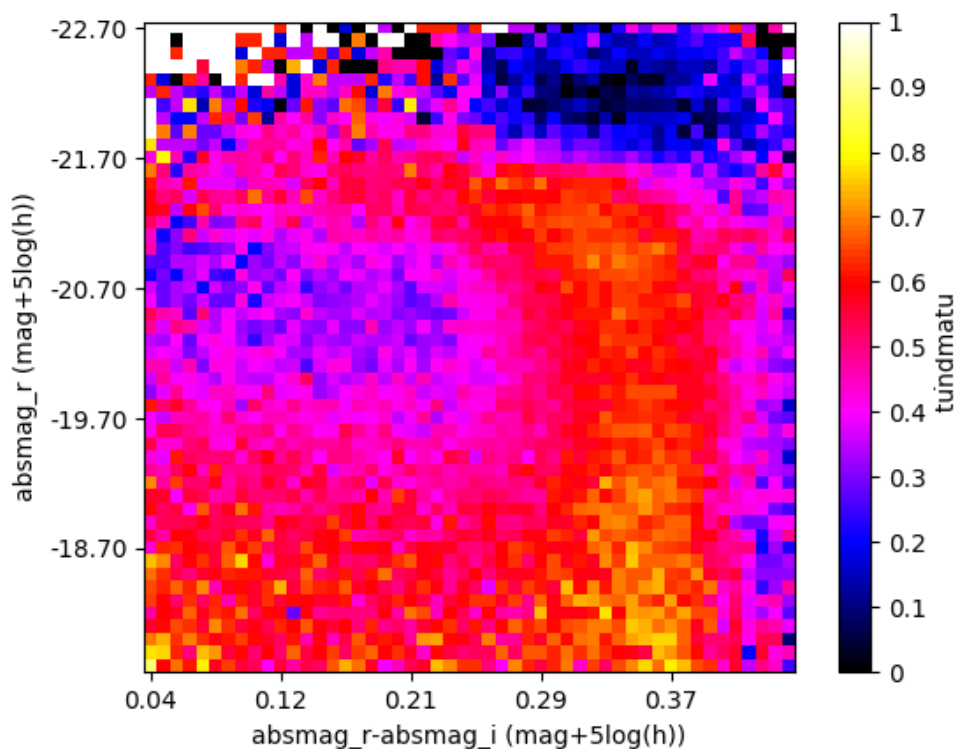
Jooniselt 3.1 on näha, et spiraalsed galaktikad on elliptilistest vähem sinisemad. Samuti on spiraalsed galaktikad heledamad. Graafikult 3.3 on näha, et kõrgete heleduste korral teadmata galaktikad peaaegu puuduvad. See võib seletada osaliselt ka seda, miks meil elliptiliste galaktikate osakaal on suurem võrreldes teiste töödega. Lisaks on sellelt graafikult näha kust tekib joonisele 3.2 spiraalsete galaktikate graafikusse r-i teljele vahemiku [0.29;0.38] vertikaalne triip.



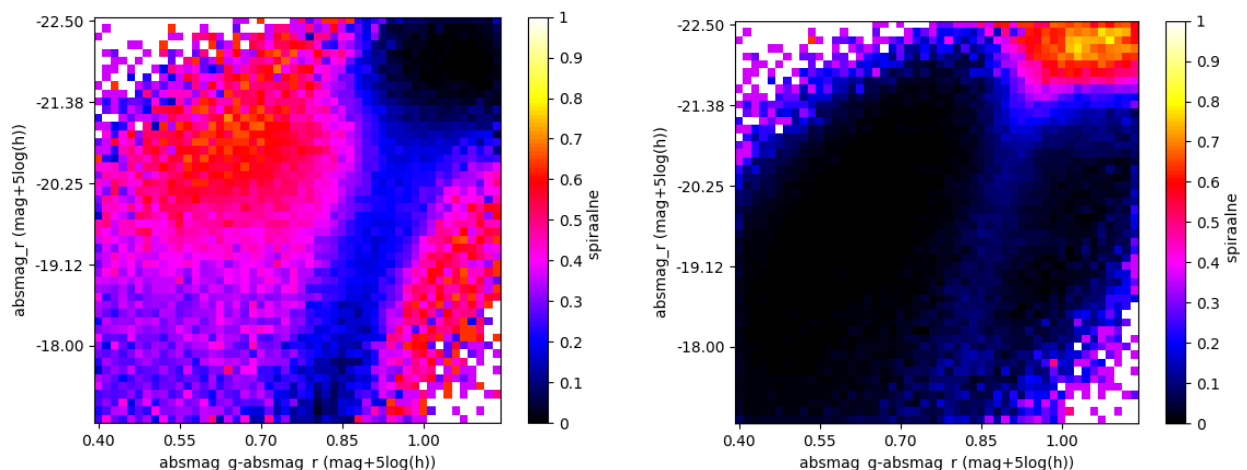
Joonis 3.1: Andmete jaotumine värvusindeksi u-g, g-r ja r-i jaoks. Tulemused on graafikul normeeritud iga tüübi jaoks suurima galaktikate arvuga binni järgi. Värvusskaala väärtused on normeeritud jagades need läbi suurima klassifitseerimata galaktikate arvuga biniga. Valgetes osades galaktikaid pole.



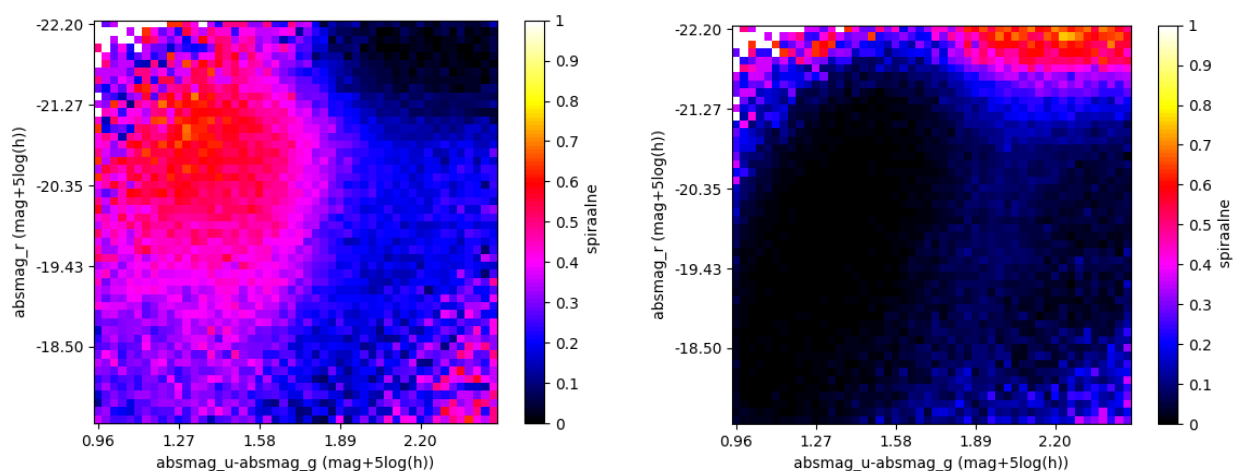
Joonis 3.2: Galaktikate morfoloogia esinemistõenäosus värvusindeksi r-i jaoks. Vasakul on tõenäosus spiraalsete ning paremal elliptiliste galaktikate jaoks. Valgega on märgitud pikslid milles polnud arvutusteks ühtegi galaktikat.



Joonis 3.3: Klassifitseerimata galaktikate esinemistõenäosus. Valgega on märgitud pikslid milles polnud arvutusteks ühtegi galaktikat.



Joonis 3.4: Galaktikate morfoloogia esinemistõenäosus värvusindeksi g-r jaoks. Vasakul on tõenäosus spiraalsete ning paremal elliptiliste galaktikate jaoks. Valgega on märgitud pikslid milles polnud arvutusteks ühtegi galaktikat.

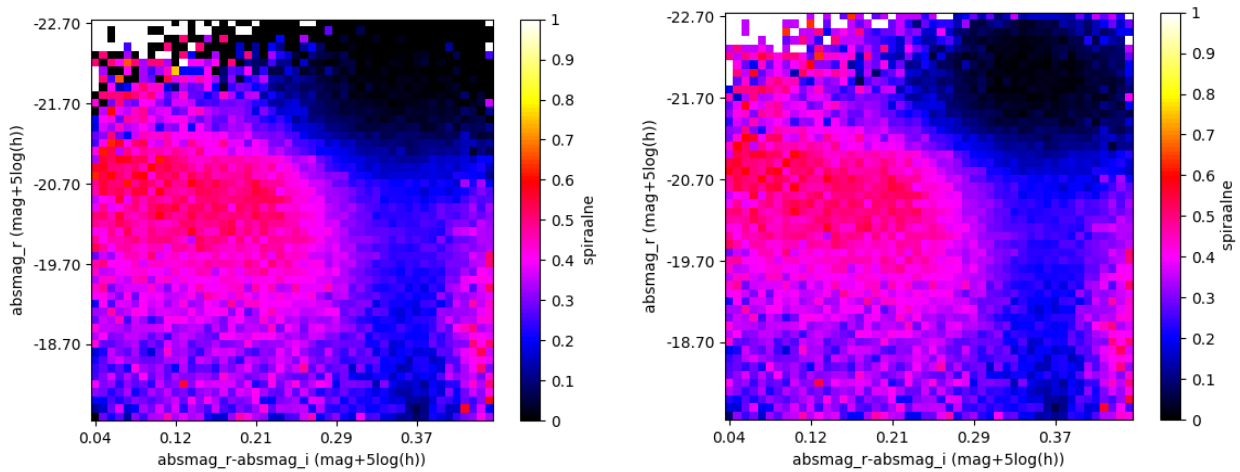


Joonis 3.5: Galaktikate morfoloogia esinemistõenäosus värvusindeksi u-g jaoks. Vasakul on tõenäosus spiraalsete ning paremal elliptiliste galaktikate jaoks. Valgega on märgitud pikslid milles polnud arvutusteks ühtegi galaktikat.

3.4 Tõenäosus ja selle määramatus

Selles töö osas olev näide on värvusindeksiga r-i. Selles näites eeldatakse, et on tegemist normaal jaotusega ning kasutatakse määramatuse arvutamiseks 90% usaldusintervalli ($z=1.645$). Näites kasutavate galaktikate valimis on kõikide tihedusväärtusega galaktikad. Tänu sellele on määramatus väiksem, kui galaktikate hulga jaoks, mis on tiheduse järgi jagatud. Kuna elliptiliste galaktikate korral arvutatud määramatused on sarnased, siis on näitena toodud vaid spiraalsete galaktikate graafikud.

Kui ühes binnis on väike arv spiraalseid galaktikaid, siis annavad need väga kallutatud tulemusi. Näiteks võib juhtuda nagu vasakpoolse pildi 3.6 ülaserivas, et kõrvuti on nii suure spiraalse galaktika tõenäosusega ning väga väikse tõenäosusega binn. See tuleneb sellest, et nendes piirkondades on andmeid vähe. Näiteks ühe galaktikaga binn on vastavalt 100% tõenäosuse binn, kui selle ühe galaktika korral on tegemist spiraalse galaktikaga ning 0%, kui selleks galaktikaks osutub näiteks tundmatu galaktika. Kasutades valemit 3.2, et eemaldada valemist 3.1 väikeste arvude korral tulevad vead saame tulemuseks joonise 3.6 parempoolse graafiku.

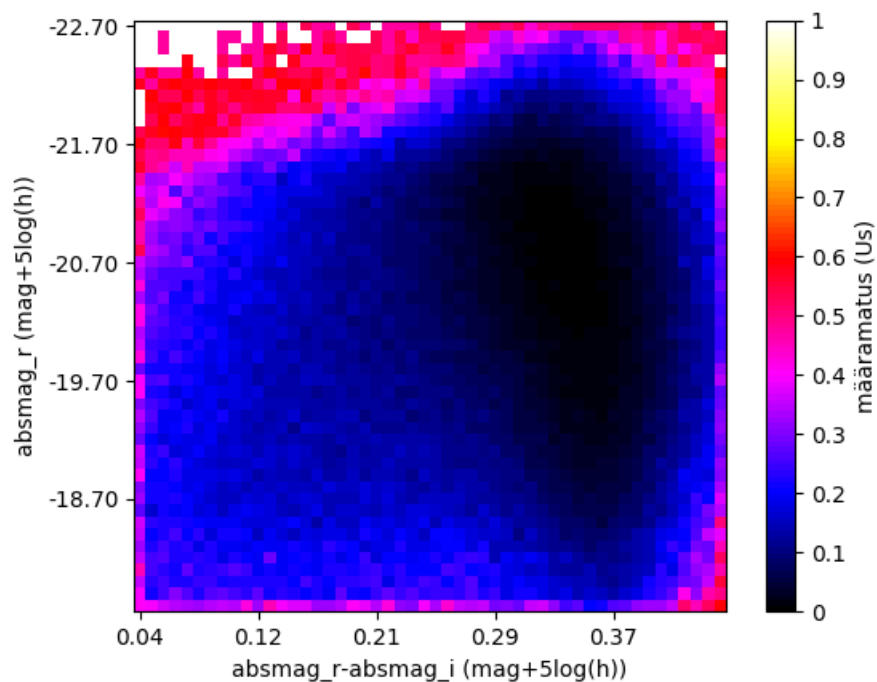


Joonis 3.6: Spiraalsete galaktikate esinemistõenäosus on kaalumata kujul vasakul (valemiga 3.1) ning kaalutud esinemistõenäosus paremal (kaalutud valemiga 3.2).

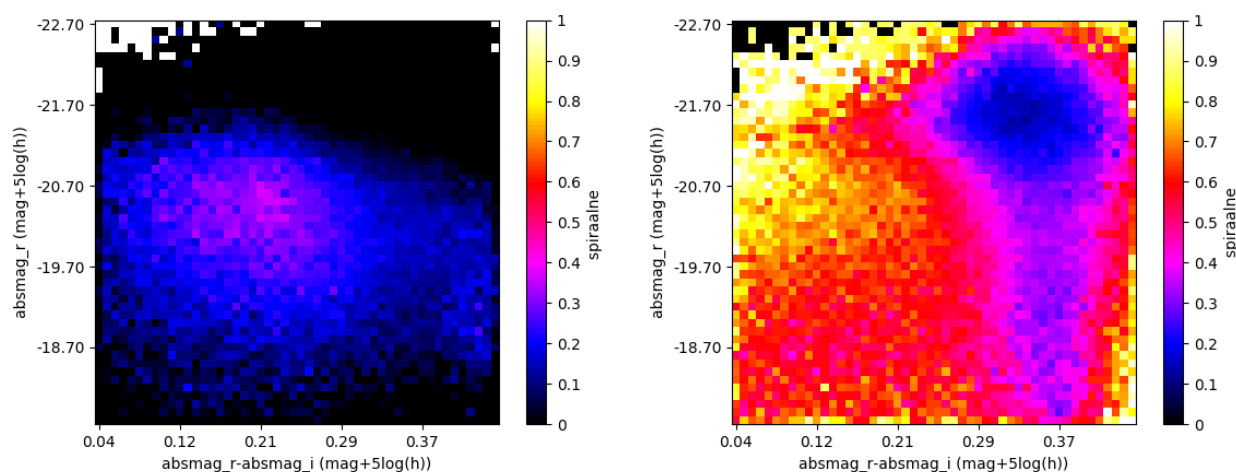
Graafikult on kadunud ekstreemsed tulemused ning mitmed vähese tõenäosusega tumedad kohad on saanud suurema tõenäosuse. Kuigi praeguses näites on andmete jaotus enamvähem ühtlane kogu piirkonnas, siis näiteks kõige madalate tihedustega graafikute korral (Joonis 3.9) on pool graafikut ilma andmeteta.

Kui vaadata määramatuse graafikut (3.7) on näha, et suurimad määramatused on joonise äärtes ning kõige väiksemad on määramatused graafiku keskel. See tuleneb sellest, et valem 3.3 on tugevalt mõjutatud galaktikate arvust binni kohta ning eelnevast graafikust 3.1 on näha, et

graafiku äärtes on galaktikaid hõredalt.



Joonis 3.7: Määramatus spiraalsete galaktikate tõenäosusele



Joonis 3.8: Määramatuse piirides asuvad spiraalsete galaktikate esinemistõenäosuse ekstreemsed väärtused. Vasakul on miinimum väärtused ning paremal maksimum väärtused. Ilma andmeteta binnid on märgitud vasakul pildil valgega ning paremal mustaga.

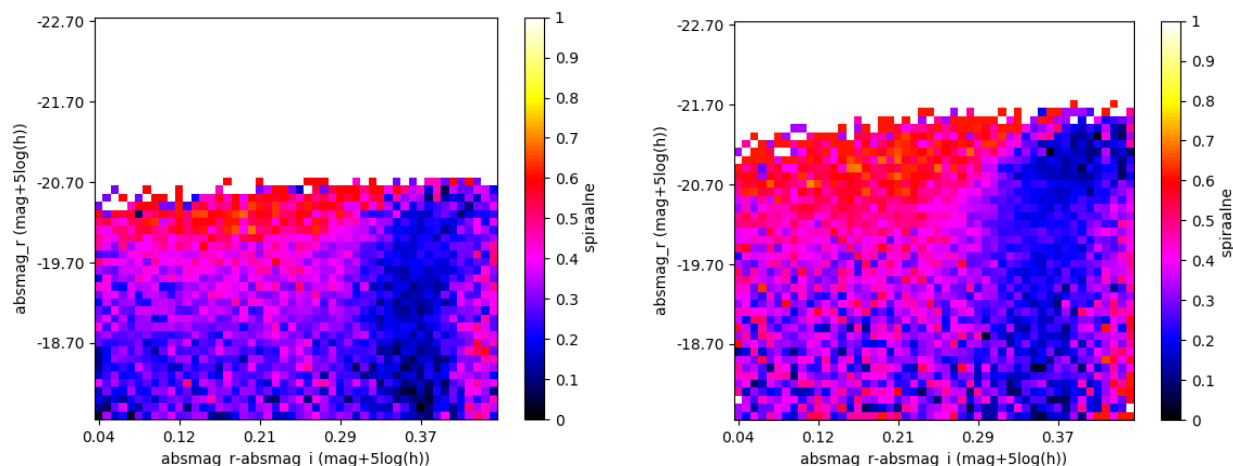
3.5 Morfoloogia muutus sõltuvalt tihedusest

Tihedused on jaotatud iga värvi jaoks neljaks enam vähem sama arvu galaktikaid sisaldavaks piirkonnaks. Kuna erinevate värvusindeksitega tõenäosusi omavahel ei hinnata, siis valik on tehtud selliselt, et vahemikes oleks hinnanguliselt samapalju galaktikaid. Jaotust on näha tabelis 3.1

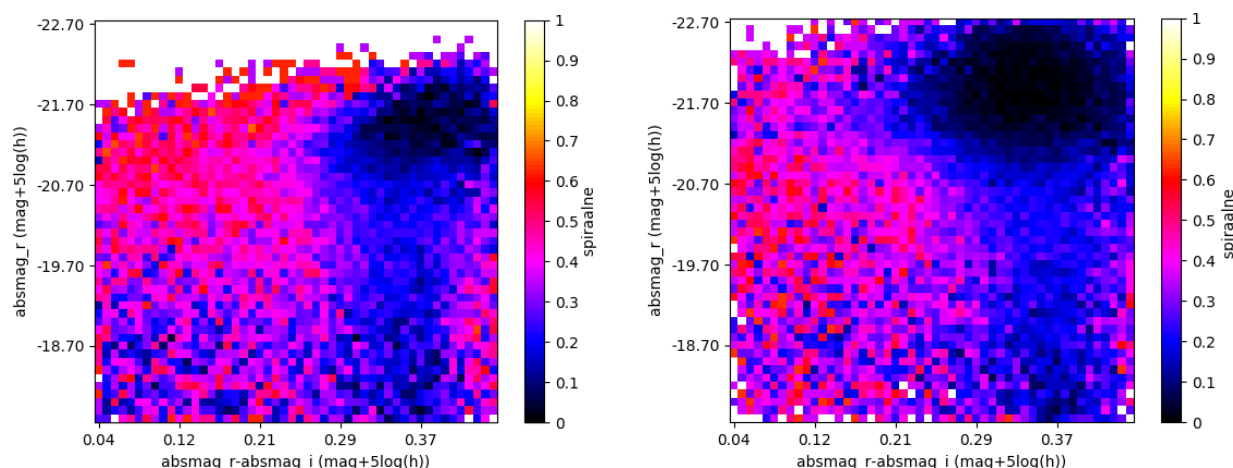
u-g		g-r		r-i	
tihe- dus	galaktikaid tihedus- vahemikus	tihe- dus	galaktikaid tihedus- vahemikus	tihe- dus	galaktikaid tihedus- vahemikus
<33	101838	<34	114421	<36	101329
33-70	95908	34-74	108483	36-78	100346
70-149	103112	74-162	118073	78-170	109161
>149	115478	>162	128642	>170	120877

Tabel 3.1: Andmete jaotus tiheduse järgi. Tihedused on antud keskmistes tiheduse ühikutes

Nagu piltidelt 3.9 näha, siis väikeste galaktikatetiheduste juures puuduvad galaktikad, mis on üle teatud heleduse väärtuse. Piltidel on toodud vaid r-i värvindeksiga tihedusvahemikude juures olevad tõenäosused.



Joonis 3.9: r-i värvindeksiga spiraalgalaktikate esinemistõenäosused väikeste keskkonna tiheduste juures. Vasakul on keskkonna tihedus <36 ning paremal jääb see vahesse [36;78].

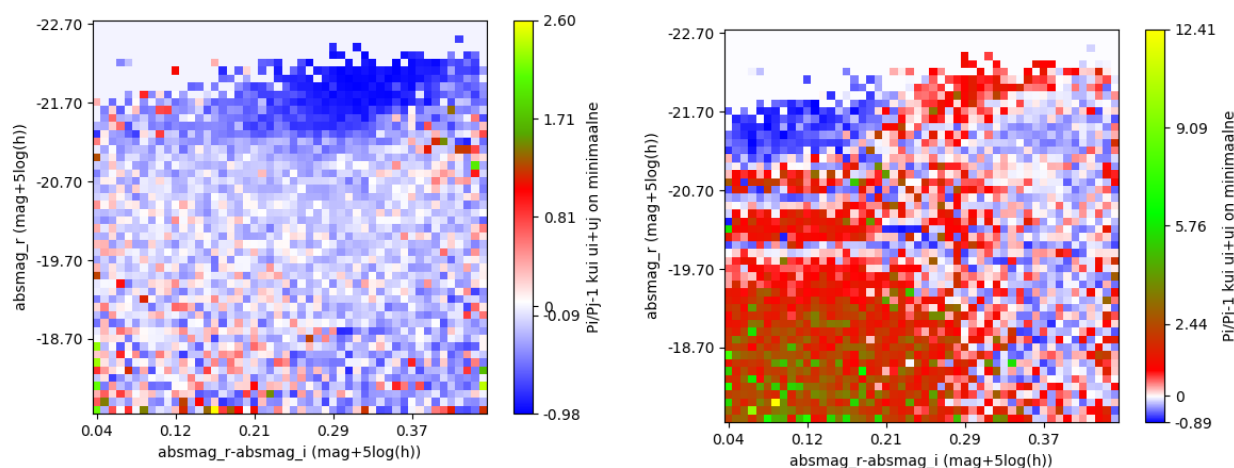


Joonis 3.10: r-i värvindeksiga spiraalgalaktikate esinemistõenäosused suurte keskkonna tiheduste juures. Vasakul keskkonna tihedusega [78;170] ning parempoolsel >170.

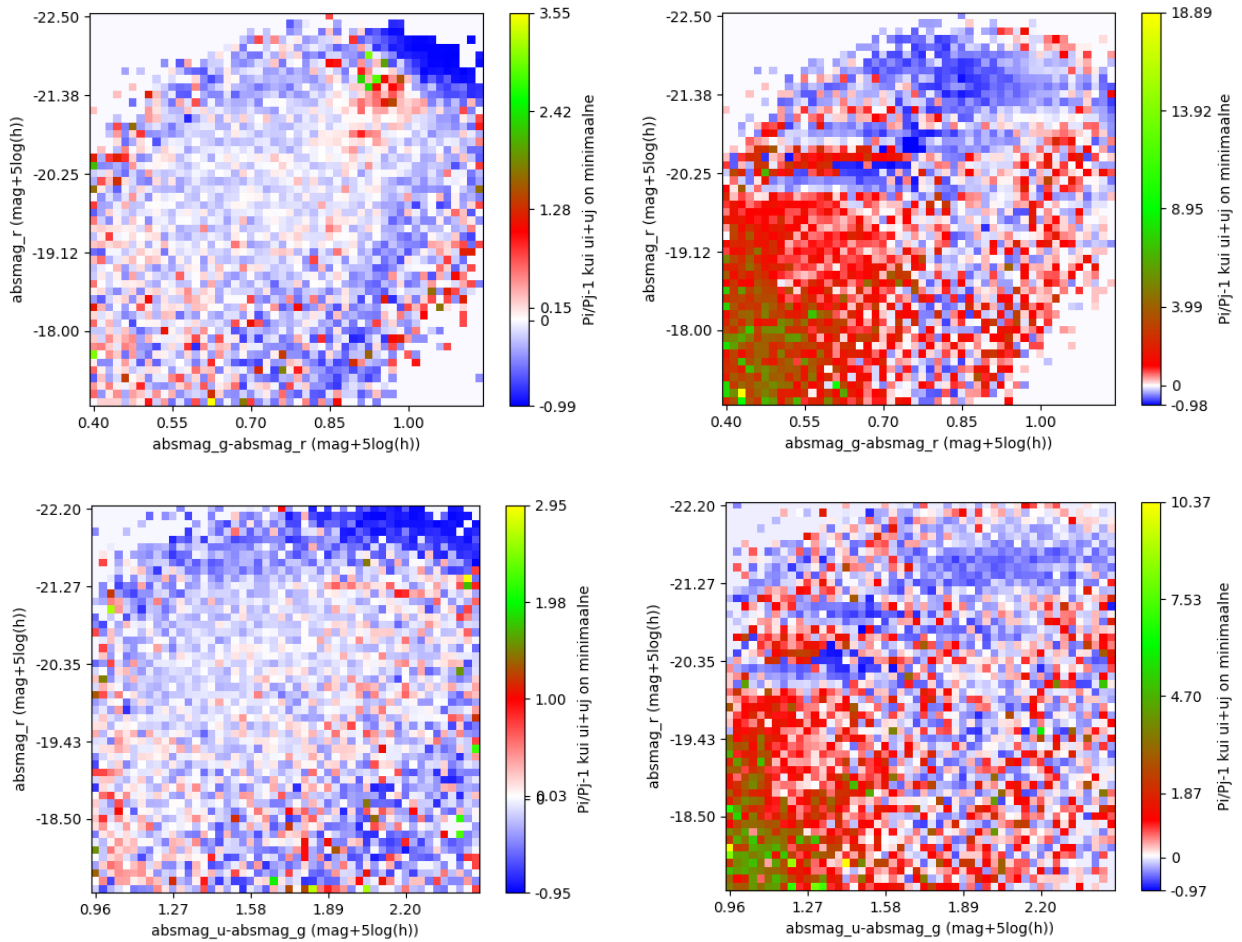
Kasutades valemit 3.5 leidsin muutuse, mida on näha graafikutelt 3.11 ja 3.12. Värvusskaala on iga graafiku jaoks valitud nii, et muutuse väärtused, mis on -1 lähedal oleks sinised, 0-i juures oleks valged ning 1-e juures on iga skaala punase värvuse keskkoh. Vaadates spiraalsete galaktikate graafikut (joonise 3.11 vasakul graafikul) on näha, et enamus tulemusi on nulli ümber. See on ainuke muutuse graafik, kus null on natuke sinise piirkonna poole kaldu. Huvitav on piirkond, mis on graafiku üleval servas ühtlaselt sinine. Kuna muutused on iga tihedusvahemiku kombinatsiooni jaoks leitud nii, et tihedama keskkonna tihedusega galaktikate esinemis tõenäosus on jagatud väiksema tiheduse juures olevaga, siis järelikult tihedamas keskkonnas olev spiraalsete galaktikate esinemistõenäosus on väiksem kui vähem tihedama keskkonna juures. Kuigi see läheb kokku teooriaga ei saa seda tulemust päris tõsiselt võtta kuna seal heleduse vahemikus on väiksema keskkonna tihedusega galaktikaid palju vähem kui kõrgema tiheduse korral, see tähendab et selles piirkonnas on väiksema tiheduse juures olevate galaktikate esinemis tõenäosusel suur määramatus. Samas on märgata sama värvusindeksi jaoks mõõdetud elliptiliste galaktikate muutuse graafikul (joonise 3.11 paremal graafikul), et seal on täpselt vastupidine trend. Üks võimalus miks võis selline muutus tekkida on, et väga heledaid galaktikaid klassifitseeriti tihti elliptiliseks.

Vaadates kõiki jooniste 3.11 ja 3.12 elliptiliste galaktikate (parempoolseid) graafikuid on näha, et kõigil on all nurgas ühtlane punane ala. See ala tekkinud väikeste galaktikate arvu tõttu. Sellele annab tõestust nii jooniste 3.2, 3.5 ning 3.4 parempoolsete graafikute must ala seal piirkonnas, kui ka see, et uurides sama piirkonda spiraalsete galaktikate morfoloogia muutuse graafikute (Jooniste 3.11 ja 3.12 vasakpoolsed graafikud) korral on näha, et kõik muutused seal on nulli ümber ehk seal spiraalsete galaktikate esinemistõenäosuse tihedusest sõltuvat muutust pole.

Kõigil parempoolsete muutuste graafikute korral on näha horisontaalseid valgeid ning punaseid triipe. Need on tekkinud sellest, et liiga väikeste galaktikate arvuga piirkondasi omavahel võrreldes tuleb tulemuseks punane ala ning kui erinevaid tihedusvahemikke on ühe binni juures rohkem kui üks, siis on arvutamiseks valida rohkem kombinatsioone ning kombinatsioonide rohkus suurendab tõenäosust, et saab valida kaks väikse kombineeritud määramatusega piirkonda. Väikeste määramatustega piirkondade muutust leides tuleb enamasti tulemuseks arv 0-i lähedal.



Joonis 3.11: Morfoloogia esinemistõenäosuse muutus sõltuvalt tihedusest. Paremal graafikul on muutus elliptiliste galaktikate jaoks ning vasakul muutus spiraalsete korral.



Joonis 3.12: Morfoloogia esinemistõenäosuse muutus sõltuvalt tihedusest. Paremäl asuvatel graafikutel on muutus elliptiliste galaktikate jaoks ning vasakul muutus spiraalsete korral.

3.6 Järeldused ja diskusioon

Fikseerides galaktika värvusindeksi ja värvuse, siis on vaid ühe värvusindeksi juures märgata morfoloogia esinemis tõenäosuse sõltuvust keskkonna tihedusest. Kuna seda on märgata vaid ühes galaktika osas, millel on suur määramatus, siis võib selle lugeda statistiliseks veaks. Erinevuse puudumine erinevate tiheduste juures ei tähenda, et galaktikate morfoloogia ei sõltu keskkonnast vaid seda, et galaktikate värvus (tähtede tekke) ja heledus (valguse kontsentreeritus) sõltuvad väga tugevasti ümbritsevast keskkonnast. Ning neid teades võib galaktika morfoloogiat kirjeldada esinemis tõenäosusega olenemata keskkonna tihedusest. Kui eeldada, et väike morfoloogia esinemis tõenäosuse muutus on ikkagi olemas, siis võimalus seda leida on proovida kasutada koos mitmeid meetodeid, et paremini kindlaks teha galaktikate

morfoloogia. Näiteks välja filtreerida Galaxy Zoo projekti tulemustest inimesed, kes määrasid galaktika tüübi õigesti just väga müraste piltide korral ning nende tulemust lugeda suurema koefitsiendiga.

Kirjandus

- Ahn, C. P., Alexandroff, R., Prieto, C. A., Anders, F., Anderson, S. F., Anderton, T., Andrews, B. H., Aubourg, É., Bailey, S., Bastien, F. A., et al. (2014). The tenth data release of the sloan digital sky survey: first spectroscopic data from the sdss-iii apache point observatory galactic evolution experiment. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 211(2):17.
- Baldry, I. K., Balogh, M. L., Bower, R., Glazebrook, K., Nichol, R. C., Bamford, S. P., and Budavari, T. (2006). Galaxy bimodality versus stellar mass and environment. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 373(2):469–483.
- Bamford, S. P., Nichol, R. C., Baldry, I. K., Land, K., Lintott, C. J., Schawinski, K., Slosar, A., Szalay, A.Š., Thomas, D., Torki, M., Andreescu, D., Edmondson, E. M., Miller, C. J., Murray, P., Raddick, M. J., and Vandenberg, J. (2009a). Galaxy zoo: the dependence of morphology and colour on environment. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 393(4):1324–1352.
- Bamford, S. P., Nichol, R. C., Baldry, I. K., Land, K., Lintott, C. J., Schawinski, K., Slosar, A., Szalay, A.Š., Thomas, D., Torki, M., et al. (2009b). Galaxy zoo: the dependence of morphology and colour on environment. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 393(4):1324–1352.
- Blanton, M. R., Hogg, D. W., Bahcall, N. A., Baldry, I. K., Brinkmann, J., Csabai, I., Eisenstein, D., Fukugita, M., Gunn, J. E., Ivezić, Ž., et al. (2003a). The broadband optical properties of galaxies with redshifts $0.02 < z < 0.22$. *The Astrophysical Journal*, 594(1):186.
- Blanton, M. R., Hogg, D. W., Bahcall, N. A., Brinkmann, J., Britton, M., Connolly, A. J., Csabai, I., Fukugita, M., Loveday, J., Meiksin, A., et al. (2003b). The galaxy luminosity function and luminosity density at redshift $z = 0.1$. *The Astrophysical Journal*, 592(2):819.
- Blanton, M. R. and Roweis, S. (2007). K-corrections and filter transformations in the ultraviolet, optical, and near-infrared. *The Astronomical Journal*, 133(2):734.

- Boselli, A. and Gavazzi, G. (2006). Environmental effects on late-type galaxies in nearby clusters. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 118(842):517.
- Cooper, M. C., Griffith, R. L., Newman, J. A., Coil, A. L., Davis, M., Dutton, A. A., Faber, S., Guhathakurta, P., Koo, D. C., Lotz, J. M., et al. (2012). The deep3 galaxy redshift survey: the impact of environment on the size evolution of massive early-type galaxies at intermediate redshift. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 419(4):3018–3027.
- Darg, D. W., Kaviraj, S., Lintott, C. J., Schawinski, K., Sarzi, M., Bamford, S., Silk, J., Proctor, R., Andreescu, D., Murray, P., et al. (2010). Galaxy zoo: the fraction of merging galaxies in the sdss and their morphologies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 401(2):1043–1056.
- De Lucia, G., Kauffmann, G., and White, S. D. (2004). Chemical enrichment of the intracluster and intergalactic medium in a hierarchical galaxy formation model. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 349(3):1101–1116.
- Delgado-Serrano, R., Hammer, F., Yang, Y., Puech, M., Flores, H., and Rodrigues, M. (2010). How was the hubble sequence 6 gyr ago? *Astronomy & Astrophysics*, 509:A78.
- Dressler, A. (1980). Galaxy morphology in rich clusters - implications for the formation and evolution of galaxies. *The Astrophysical Journal*, 236:351.
- Duc, P.-A., Brinks, E., Wink, J., and Mirabel, I. (1997). Gas segregation in the interacting system arp 105. *Astronomy and Astrophysics*, 326:537–553.
- Elbaz, D. and Cesarsky, C. J. (2003). A fossil record of galaxy encounters. *Science*, 300(5617):270–274.
- ESA,NASA (2013). Hubble galaxy classification. [Internet; vaadatud Mai 09, 2018, <http://sci.esa.int/hubble/52791-the-hubble-tuning-fork—classification-of-galaxies/>].
- Ferguson, H. C., Dickinson, M., and Williams, R. (2000). The hubble deep fields. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 38(1):667–715.
- Gavazzi, G., Franzetti, P., Scodreggio, M., Boselli, A., and Pierini, D. (2000). 1.65 micron (h-band) surface photometry of galaxies. v: Profile decomposition of 1157 galaxies. *Arxiv preprint astro-ph/0007411*.
- Gavazzi, G., Fumagalli, M., Cucciati, O., and Boselli, A. (2010). A snapshot on galaxy evolution occurring in the great wall: the role of nurture at $z=0$. *Astronomy & Astrophysics*, 517:A73.
- Goto, T., Yamauchi, C., Fujita, Y., Okamura, S., Sekiguchi, M., Smail, I., Bernardi, M., and

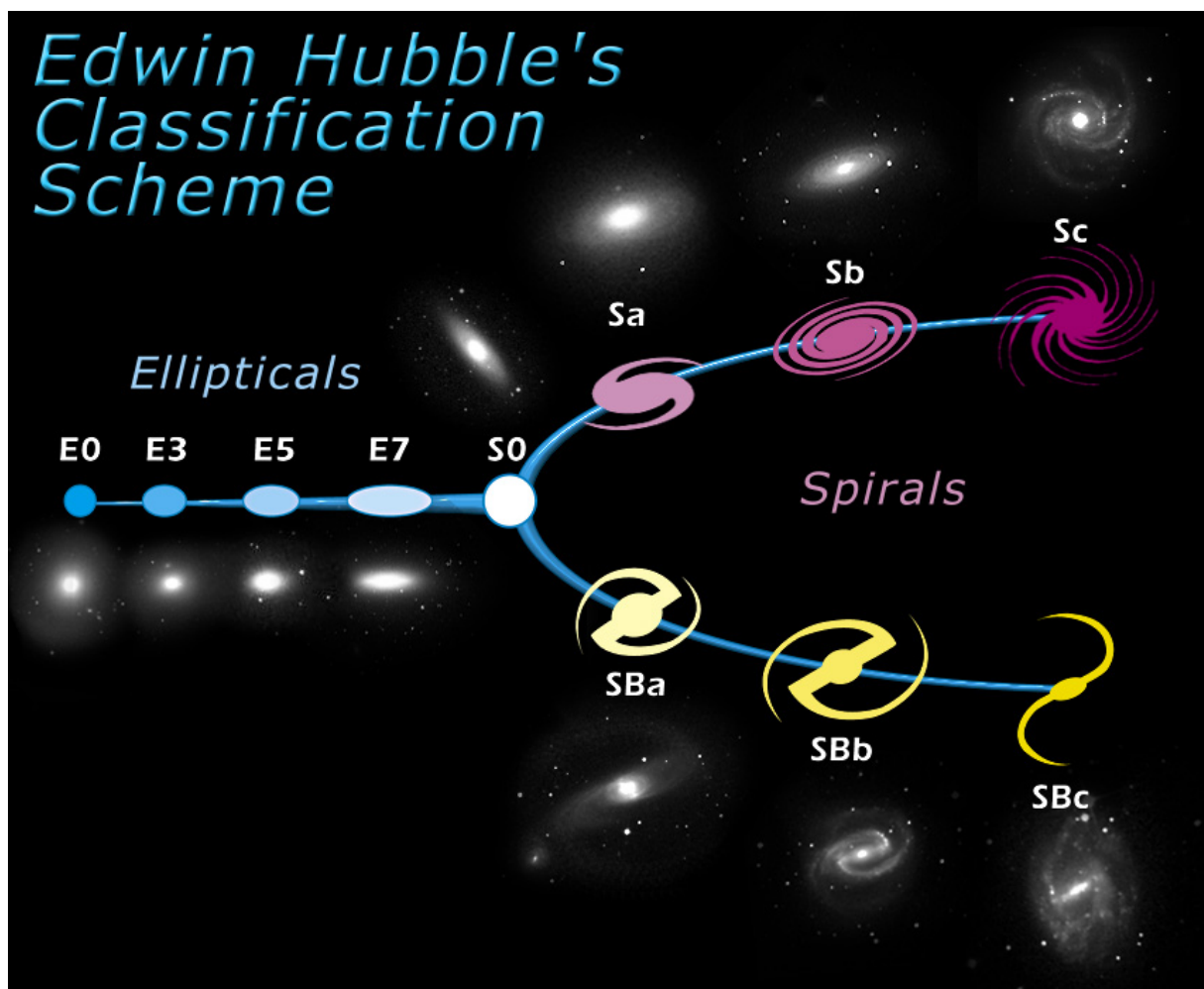
- Gomez, P. L. (2003). The morphology—density relation in the sloan digital sky survey. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 346(2):601–614.
- Haines, C., Pereira, M., Smith, G., Egami, E., Sanderson, A., Babul, A., Finoguenov, A., Merluzzi, P., Busarello, G., Rawle, T., et al. (2013). Locuss: The steady decline and slow quenching of star formation in cluster galaxies over the last four billion years. *The Astrophysical Journal*, 775(2):126.
- Huchra, J., Davis, M., Latham, D., and Tonry, J. (1983). A survey of galaxy redshifts. iv-the data. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 52:89–119.
- Huchra, J. and Geller, M. (1982). Groups of galaxies. i-nearby groups. *The Astrophysical Journal*, 257:423–437.
- Jaffé, Y. L., Aragón-Salamanca, A., Kuntschner, H., Bamford, S., Hoyos, C., De Lucia, G., Halliday, C., Milvang-Jensen, B., Poggianti, B., Rudnick, G., et al. (2011). The effect of the environment on the gas kinematics and the structure of distant galaxies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 417(3):1996–2019.
- Johnston, E. J., Aragón-Salamanca, A., and Merrifield, M. R. (2014). The origin of s0s in clusters: evidence from the bulge and disc star formation histories. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 441(1):333–342.
- Kauffmann, G., Heckman, T. M., White, D. M.Š., Charlot, S., Tremonti, C., Brinchmann, J., Bruzual, G., Peng, E. W., Seibert, M., Bernardi, M., Blanton, M., Brinkmann, J., Castander, F., Csábai, I., Fukugita, M., Ivezić, Z., Munn, J. A., Nichol, R. C., Padmanabhan, N., Thakar, A. R., Weinberg, D. H., and York, D. (2003). Stellar masses and star formation histories for 105galaxies from the sloan digital sky survey. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 341(1):33–53.
- Kelkar, K., Gray, M. E., Aragón-Salamanca, A., Rudnick, G., Milvang-Jensen, B., Jablonka, P., and Schrabback, T. (2017). The effect of the environment on the structure, morphology and star formation history of intermediate-redshift galaxies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 469(4):4551–4564.
- Kovač, K., Lilly, S. J., Knobel, C., Bschorr, T., Peng, Y., Carollo, C. M., Contini, T., Kneib, J.-P., Le Fèvre, O., Mainieri, V., et al. (2013). zcosmos 20k: satellite galaxies are the main drivers of environmental effects in the galaxy population at least to z 0.7. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 438(1):717–738.
- Kuutma, T., Tamm, A., and Tempel, E. (2017). From voids to filaments: environmental transformations of galaxies in the SDSS. *Astronomy & Astrophysics*, 600:L6.

- Lintott, C., Schawinski, K., Bamford, S., Slosar, A., Land, K., Thomas, D., Edmondson, E., Masters, K., Nichol, R. C., Raddick, M. J., et al. (2010). Galaxy zoo 1: data release of morphological classifications for nearly 900 000 galaxies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 410(1):166–178.
- Poggianti, B. M., Aragón-Salamanca, A., Zaritsky, D., De Lucia, G., Milvang-Jensen, B., Desai, V., Jablonka, P., Halliday, C., Rudnick, G., Varela, J., et al. (2009). The environments of starburst and post-starburst galaxies at $z=0.4-0.8$. *The Astrophysical Journal*, 693(1):112.
- Poggianti, B. M., Smail, I., Dressler, A., Couch, W. J., Barger, A. J., Butcher, H., Ellis, R.Š., and Oemler Jr, A. (1999). The star formation histories of galaxies in distant clusters. *The Astrophysical Journal*, 518(2):576.
- Quadri, R. F., Williams, R. J., Franx, M., and Hildebrandt, H. (2011). Tracing the star-formation-density relation to $z=2$. *The Astrophysical Journal*, 744(2):88.
- Smith, G. P., Treu, T., Ellis, R.Š., Moran, S. M., and Dressler, A. (2005). Evolution since $z=1$ of the morphology-density relation for galaxies. *The Astrophysical Journal*, 620(1):78.
- Sobral, D., Best, P. N., Smail, I., Geach, J. E., Cirasuolo, M., Garn, T., and Dalton, G. B. (2011). The dependence of star formation activity on environment and stellar mass at $z=1$ from the hizels- $h\alpha$ survey. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 411(1):675–692.
- Tempel, E., Tago, E., and Liivamägi, L. (2012). Groups and clusters of galaxies in the sdss dr8-value-added catalogues. *Astronomy & Astrophysics*, 540:A106.
- Tempel, E., Tamm, A., Gramann, M., Tuvikene, T., Liivamägi, L., Suhhonenko, I., Kipper, R., Einasto, M., and Saar, E. (2014). Flux-and volume-limited groups/clusters for the sdss galaxies: catalogues and mass estimation. *Astronomy & Astrophysics*, 566:A1.
- Terndrup, D. M., Davies, R. L., Frogel, J. A., DePoy, D., and Wells, L. A. (1994). Infrared imaging of spiral galaxies: Colors and luminosity profiles. *The Astrophysical Journal*, 432:518–546.
- Van Den Bosch, F. C., Aquino, D., Yang, X., Mo, H., Pasquali, A., McIntosh, D. H., Weinmann, S. M., and Kang, X. (2008). The importance of satellite quenching for the build-up of the red sequence of present-day galaxies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 387(1):79–91.
- Whitmore, B. C. and Gilmore, D. M. (1991). On the interpretation of the morphology-density relation for galaxies in clusters. *The Astrophysical Journal*, 367:64–68.
- Whitmore, B. C., Gilmore, D. M., and Jones, C. (1993). What determines the morphological fractions in clusters of galaxies? *The Astrophysical Journal*, 407:489–509.

- Wilson, E. B. (1927). Probable inference, the law of succession, and statistical inference. *Journal of the American Statistical Association*, 22(158):209–212.
- Woo, J., Dekel, A., Faber, S., Noeske, K., Koo, D. C., Gerke, B. F., Cooper, M. C., Salim, S., Dutton, A. A., Newman, J., et al. (2012). Dependence of galaxy quenching on halo mass and distance from its centre. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 428(4):3306–3326.
- York, D. G., Adelman, J., Anderson Jr, J. E., Anderson, S. F., Annis, J., Bahcall, N. A., Bakken, J., Barkhouser, R., Bastian, S., Berman, E., et al. (2000). The sloan digital sky survey: Technical summary. *The Astronomical Journal*, 120(3):1579.

Lisa A

Pildid



Joonis A.1: Galaktikate morfoloogia (ESA,NASA, 2013)

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Oskar Aava,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

Kosmoloogilise keskkonna mõju galaktikate morfoloogiale,

mille juhendajad on Elmo Tempel ja Maarja Kruuse,

- (a) reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
 - (b) üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
 3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartu, 1. juuni 2018. a.